

Abb. 3: Netzgeometrie für eine Hängerneigungsänderung nach PCD-ZT bei 36 Hängern und $\varphi = 56^\circ$

Die beiden Tragwerke weisen Spannweiten von 112,5 m bzw. 88,5 m und einen Bogenstich von 19 m bzw. 14 m auf. Die Fahrbahn sollte jeweils als orthotrope Platte ausgebildet werden. Ziel der Diplomarbeit war es, für das größere der beiden Tragwerke eine Hängernetzgeometrie aufzufinden, bei der es zu keinen Hängerausfällen kommt. Zu diesem Zweck wurden zwei unterschiedliche, in der Literatur [2], [3], [4], [5], [6], [7] vorgeschlagene Generierungsvorschriften für Hängernetze angewendet. Bei der radialen Hängeranordnung (Abbildung 1) bilden alle Hänger einen konstanten Winkel mit dem Bogen und man erhält eine radiale Orientierung der Hänger und somit eine nahezu radiale Belastung des Bogens.

Bei der konstanten Hängerneigungsänderung (Abbildung 2) werden die Hänger variabel angeordnet, wobei die Neigung der linksgeneigten Hänger kontinuierlich zunimmt und die der rechtsgeneigten Hänger im selben Maße abnimmt.

Darüber hinaus wurde eine dritte Variante (Abbildung 3), die auf der konstanten Hängerneigungsänderung basiert und von PCD-ZT für das vorliegende Projekt angewandt wird, untersucht. Der Unterschied besteht in der Anordnung der Hänger entlang des Bogens. Im Gegensatz zur konstanten Hängerneigungsänderung, bei der sich die Hänger knapp unterhalb des Anschlusses an den Bogen kreuzen, werden für diese Variante immer zwei gegenseitig geneigte Hänger in einem Punkt auf der Schwerachse des Bogens zusammengeführt.

Im Rahmen einer Parameterstudie wurden für die radiale Hängeranordnung 34, für die konstante Hängerneigungsanordnung 36 und für die Hängeranordnung nach PCD-ZT 34 unterschiedliche Netze berechnet. Es ist gelungen, für jede der Varianten eine Anord-

nung der Hänger zu finden, bei der im mittleren Bereich der Brücke im Grenzzustand der Ermüdung kein Hänger Druckkräfte aufzunehmen hat. Die Berechnungen haben gezeigt, dass es günstig ist, unter Rücksichtnahmen auf die in der Literatur vorgeschlagenen Winkel, die Hänger so flach wie möglich anzuordnen. Dabei war zu berücksichtigen, dass derzeit Beschränkungen bei den Lieferlängen der gewählten Rundstahlhänger von ungefähr 24 m bestehen. Unter diesem Gesichtspunkt wurde für die radiale Hängeranordnung ein Hänger-Bogen-Winkel von 56° gewählt. Bei den beiden anderen Varianten wurde jeweils ein Neigungswinkel der Hänger in Brückenmitte von 54° gewählt.

Für Spannweiten von 100 m können zwischen 36 bis 46 Hänger angeordnet werden. Vergleichsrechnungen lieferten jedoch das Ergebnis, dass eine Anordnung von mehr als 36 Hängern keine entscheidenden Vorteile mit sich bringt. Für weiterführende Berechnungen wurden folglich die flachsten Hängeranordnungen mit 36 Hängern, welche die Anforderung an die Lieferlängen erfüllen, ausgewählt.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind Druckkräfte in den Hängern nicht zu vermeiden. Dies ist auf zwei Dinge zurückzuführen. Einerseits können die Hänger aufgrund der oben beschriebenen Einschränkung nicht beliebig flach angeordnet werden, andererseits wird die Fahrbahn der Brücke als orthotrope Platte ausgebildet, wodurch sich ein relativ geringes Verhältnis von ständigen Lasten zu Verkehrslasten ergibt, was sich nachteilig auf die minimalen Normalkräfte in den Hängern auswirkt. Da es sich bei den Hängern um Konstruktionselemente handelt, die eigentlich keine Druckkräfte erhalten dürfen, wurde ein neues

zweiteiliges Nachweiskonzept für die Hänger und das Gesamttragwerk im Grenzzustand der Tragfähigkeit entwickelt. Dazu wurde eine „neue“ maßgebende Einwirkungskombination für die Hänger definiert, unter der nachgewiesen wurde, dass in keinem der Hänger resultierende Druckkräfte vorhanden sind. Dabei wurden die Teilsicherheitsbeiwerte so gewählt, dass das Lastniveau zwar unterhalb der Traglast, jedoch deutlich über der Gebrauchslast liegt.

Im zweiten Schritt wurde im Grenzzustand der Tragfähigkeit nachgewiesen, dass das Gesamttragwerk, auch wenn Hänger Druckkräfte erhalten und somit ausfallen, nicht versagt.

Auch bei den ausgewählten Netzen, die sich bereits sehr günstig im Bereich der Brückenmitte verhalten, gelang es unter den gegebenen Randbedingungen nicht, Druckkräfte in den Randhängern im Kämpferbereich vollkommen zu vermeiden. Dadurch wird es notwendig, zusätzliche Möglichkeiten für konstruktive Maßnahmen zu entwickeln, um diesen entgegenzuwirken. Die erste besteht darin, zu versuchen, die ständigen Lasten in Brückenlängsrichtung entsprechend der Einflusslinien der Randhänger günstiger zu verteilen. Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die ständigen Lasten in den Randbereichen der Brücke zu erhöhen. Bei der zweiten Möglichkeit werden den Randhängern, die Druckkräfte erhalten, entsprechende Zugkräfte eingeprägt, indem der Bogen im Kämpferbereich vorgespannt wird und die Hänger mit einer verkürzten Stablänge eingebaut werden. Für den dritten Lösungsansatz wurde untersucht, wie sich eine Änderung der Steifigkeiten des Bogens und Versteifungsträgers im Kämpferbereich auf die Normalkräfte in den Hängern auswirkt. Dabei hat sich gezeigt, dass es günstig ist, die Steifigkeit des Bogens zum Kämpfer hin zu erhöhen.

Die Berechnungen haben ergeben, dass keine der Varianten alleine zum Ziel führt. Eine Kombination der unterschiedlichen Varianten kann sich je-

doch als effektiv erweisen. So gelang es, für jede der ausgewählten Netzgeometrien eine befriedigende Lösung zu finden, bei der kein Hänger unter der „neuen“ maßgebenden Einwirkungskombination ausfällt und die Tragfähigkeit des Bauwerks im Grenzzustand der Tragfähigkeit gewährleistet ist. Am Ende sei noch einmal angemerkt, dass das Eigengewicht der Fahrbahnkonstruktion und damit verbunden das Verhältnis von ständigen Lasten zu Verkehrslasten, insbesondere bei Eisenbahnbrücken mit hohem Verkehrslastniveau, von entscheidender Bedeutung für das Hängerverhalten einer Netzwerkbogenbrücke ist. Es soll an dieser Stelle auch erwähnt werden, dass nach derzeitigem Planungsstand statt einer orthotropen Platte eine Verbundkonstruktion zur Anwendung kommen soll, um das Verhalten der Hänger günstig zu beeinflussen und aufwendige Zusatzmaßnahmen zu vermeiden.

Literatur

- [1] Alexander Pisan, Clemens Schweighofer, Markus Weidinger. Parameterstudien unterschiedlicher Netzgeometrien mit Optimierung des Hängernetzes im Kämpferbereich für eine Netzwerkbogenbrücke. Technische Universität Wien: s.n., 2011.
- [2] Benjamin Brunn, Frank Schanack. Diplomarbeit: Berechnung einer zweigleisigen Eisenbahn-Netzwerkbogenbrücke unter Einsatz des europäischen Normenkonzepts. Technische Universität Dresden: s.n., 2003.
- [3] Netzgenerierung von Netzwerkbogenbrücken. Schanack, Frank und Brunn, Benjamin. 2009, Heft 7, Stahlbau 78, S. 477–483.
- [4] Die Netzwerkbogenbrücke, ein überaus effizientes Brückentragwerk – Tragwirkung und Konstruktion. Teich, Stephan. 2005, Heft 8, Stahlbau 74, S. 596–605.
- [5] Tveit, Per. The Networkarch, Bits of manuscript in december after lectures in 50 countries. www.network-arch.com. [Online] [Zitat vom: 15. Jänner 2011].
- [6] Netzwerkbogenbrücken – Entwurf, Bemessung, Ausführung. Uwe Steimann, Wolfgang Graße, Karsten Geißler. 2008, Heft 3, Stahlbau 77, S. 158–171.
- [7] Entwicklung allgemeiner Entwurfsgrundsätze für Hängernetze von Netzwerkbogenbrücken. Teich, Stephan. 2011, Heft 2, Stahlbau 80, S. 100–111.

DI Alexander Pisan BSc
alex.pisan@chello.at
DI Clemens Schweighofer BSc
cr.schweighofer@aon.at
DI Markus Weidinger BSc
markusweidinger@gmx.at

Viskoelastische Eigenschaften von polymermodifizierten Asphalten unter zyklisch dynamischer Druckschwellbelastung



Univ. Ass. DI Matthias Mader

Einleitung

Der triaxiale, zyklische Druckschwellversuch (engl.: triaxial cyclic compression test; kurz: TCCT) laut EN 12697-25 zählt zu den gebrauchsvorhaltensorientierten (GVO) Asphaltprüfungen und dient als realitätsnahe Simulation der Spannungs- und Verformungszustände von flexiblen Asphaltstraßenausbauten unter Verkehrsbelastung bei hohen Temperaturen.

Die Gegebenheit, dass bei der Überrollung die Beanspruchung an einem Querschnitt im Straßenaufbau zunächst stetig ansteigt, ihr Maximum zu dem Zeitpunkt, an dem sich das Rad direkt über dem betrachteten Querschnitt befindet, erreicht und wieder abnimmt, wenn das Rad weiterrollt, kann gut durch eine cosinusförmige Funktion dargestellt werden. Die Abbildung 4 soll dies graphisch veranschaulichen.

Als Reaktion auf die Belastung entstehen in den Asphaltsschichten in vertikaler Richtung Spannungen, die ebenfalls einen Cosinusverlauf aufweisen. Aufgrund der vertikalen Stauchung versucht der Asphalt sich horizontal auszudehnen, das wiederum horizontale Spannungen zur Folge hat.

Die dynamische Verkehrsbelastung wird im TCCT demnach durch eine sinusförmige, axiale Druckschwellbelastung simuliert. Der Einspannungszustand im Straßenkörper wird im Labor

durch einen radialen Stützdruck auf den Probekörper modelliert (Abbildung 5). Bis dato wird dieser Stützdruck statisch aufgebracht, was jedoch nicht der realen Situation im Straßenaufbau entspricht. Um die Realität durch den Versuch besser anzunähern, soll ein zyklisch-dynamischer, radial wirkender Stützdruck eingeführt werden.

Es ist zu beachten, dass es zwischen den vertikalen Lasten und horizontalen Reaktionen zu einem Zeitversatz kommt, der vom viskoelastischen Materialverhalten des Asphaltes herrührt. Man spricht auch von einer sogenannten Phasenverschiebung, einem Phasenversatz oder Phasenwinkel φ . Um einen zyklischen, dynamischen Stützdruck in die Versuchsteuerung implementieren zu können, muss eben diese Phasenverschiebung, die zwischen den axialen Belastungsspannungen und den radialen Dehnungen auftritt, bekannt sein. Dazu müssen die Einflüsse von Temperatur, Belastungsfrequenz und Materialparameter auf die Phasenverschiebung systematisch untersucht werden.

Radiale Dehnungsmessung

Um die viskoelastischen Eigenschaften von Asphalten bestimmen zu können, wurde die radiale Dehnungsmessung mit direkt an den Probekörper applizierten Dehnungsmessstreifen eingeführt. Die exakte Messung der am Probekörper auftretenden radialen Deformationen war bisher ein noch nicht zufriedenstellend gelöstes Problem in der triaxialen Versuchstechnik. Das Hauptproblem der radialen Verformungsmessung war, dass die verschiedenen Messinstrumente, die man bislang entwickelt hatte, nur auf der Gummimembran, die zur Abdichtung des Probekörpers notwendig ist, aufgebracht werden konnten. Dies hatte zur Folge, dass in die Messung immer ein unbekannter Einfluss der Gummimembran eingeflossen ist. Mit der Einführung von Dehnungsmessstreifen zur Untersuchung des Verformungsverhaltens von Asphalten wurde erstmalig eine Messmethode angewendet, die aufgrund der

direkten Applikation am Probekörper nicht mehr durch die Gummimembran beeinflusst wird (Abbildung 6).

Viskoelastisches Materialverhalten

Im Rahmen der Diplomarbeit wurde an einem polymermodifizierten Deckschichtmischgut AC 11 deck PmB 25/55-65, A2, G1 (Loja) anhand von Reihenuntersuchungen an der Triaxialprüfmaschine die Phasenverschiebung bei variierenden Randbedingungen untersucht. Zum einen wurde die Zusammensetzung des Mischgutes durch unterschiedliche Hohlraum- und Bindemittelgehalte variiert. Zum anderen wurden die Versuche insofern modifiziert, indem sie nicht wie in der Norm nur bei einer Belastungsfrequenz von 3 Hz durchgeführt wurden, sondern jeweils mehrere Frequenzpakete (0,1 Hz, 0,5 Hz, 1 Hz, 3 Hz, 5 Hz, 10 Hz) durchlaufen wurden. Des Weiteren wurde das Deck-

schichtmaterial bei unterschiedlichen Prüftemperaturen (10 °C, 30 °C, 50 °C) untersucht.

In der Abbildung 7 ist das Materialverhalten der Asphaltmischgelte mit 5,3 M.-% Bindemittelgehalt und 3,0 V.-% Zielhohlraumgehalt zu sehen. Bei einem Vergleich der axialen Phasenwinkel (oben) und der radialen Phasenwinkel (unten) ist erkennbar, dass sich der Asphalt in beiden Richtungen qualitativ gleich verhält. Die Phasenwinkel unterscheiden sich lediglich in ihrer Größe, wobei der radiale Phasenwinkel stets höher ist als der axiale.

Weiters ist erkennbar, dass bei sehr niedrigen Belastungsfrequenzen (z.B. 0,1 Hz) die Phasenwinkel bei unterschiedlichen Prüftemperaturen relativ ähnlich sind. Mit einer Steigerung der Frequenz verhält sich der Asphalt jedoch unter verschiedenen Temperaturen anders. Während der Phasenwinkel bei einer Prüftemperatur von 10 °C mit der Erhöhung der Frequenz sinkt, steigt dieser bei höheren

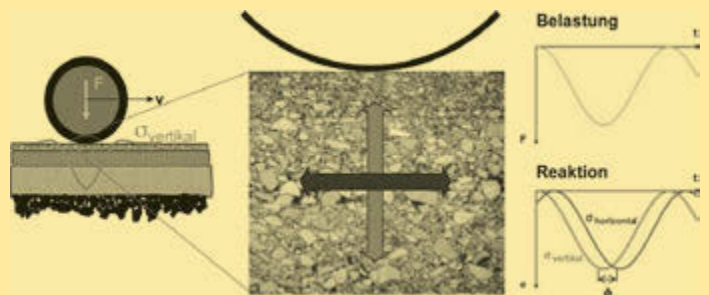


Abb. 4: Simulation der Verkehrslast durch eine zyklisch, dynamische Axiallast

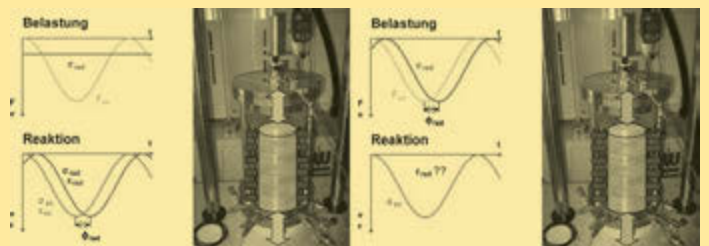


Abb. 5: Simulation des Einspannungszustandes im Straßenkörper im Labor. Links: aktuell verwendeter statischer Stützdruck, rechts: gewünschter oszillierender Stützdruck



Abb. 6: Radialmessbügel über Latexmembran (li) und Dehnungsmessstreifen direkt auf Asphaltprobekörper appliziert (re)

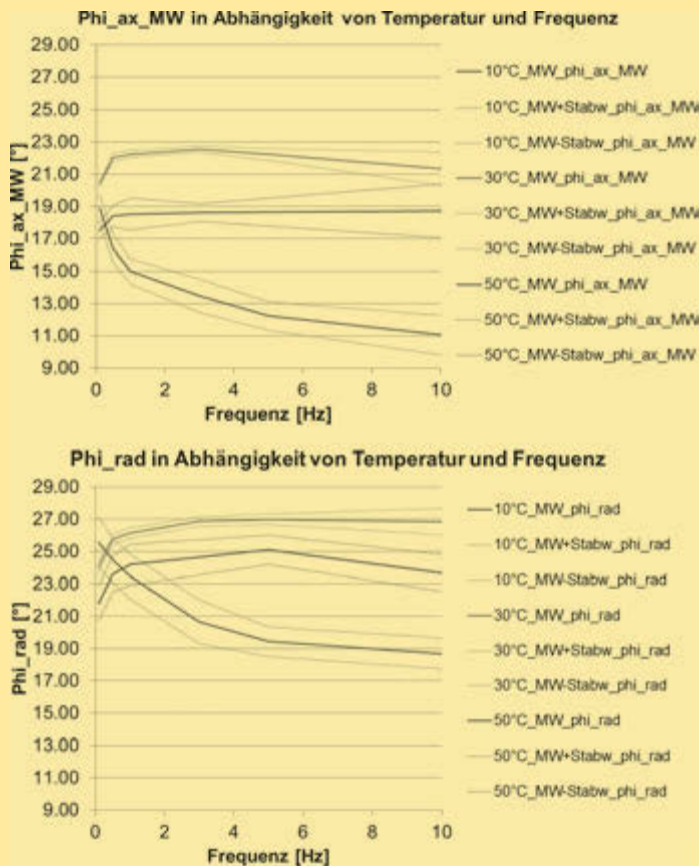


Abb. 7: Gemittelte axiale Phasenwinkel φ_{ax_MW} (oben) und radiale Phasenwinkel φ_{rad} (unten) in Abhängigkeit von der Temperatur und der Frequenz

Temperaturen von 30 °C und 50 °C an. Zu beachten ist hierbei vor allem auch, dass der Verlauf der 50 °C-Kurve unter der 30 °C-Kurve liegt. Der Grund für diese unterschiedlichen Entwicklungen liegt im viskoelastischen Materialverhalten des Bitumens.

Aufgrund der hohen Steifigkeit des Bitumens im Niedrigtemperaturbereich hat das Bindemittel bei dieser Temperatur einen hohen Anteil am Tragverhalten des Mischguts.

Je höher die Temperatur ist, umso viskoser verhält sich das Bitumen. Bei 30 °C liegt der Phasenwinkel des reinen Bitumens deutlich höher als noch bei 10 °C und auch über dem des Asphalts. Im niedrigen Frequenzbereich ist das Bitumen so weich, dass sich das Gestein im Asphalt vermehrt an der Tragwirkung beteiligt. Mit dem Anstieg der Frequenz verhält sich Bitumen jedoch zunehmend steifer und beteiligt sich immer mehr an der Tragwirkung. Der Phasenwinkel des Asphalts steigt somit bei einer Erhöhung der Frequenz an. In hohen Temperaturbereichen ist das Bitumen zu weich, um

noch einen maßgebenden Einfluss auf die Tragwirkung zu haben. Es trägt hauptsächlich das elastische Gesteinsgerüst, weshalb die Phasenwinkel des Asphalts bei 50 °C Prüftemperatur niedriger sind als bei 30 °C.

Univ. Ass. DI Matthias Mader
matthias_mader@gmx.at

Der Tagungsband zum FSV-Preis 2011 ist über den Shop der FSV unter www.fsv.at erhältlich.

Veranstaltungen und Seminare

FSV-Verkehrstag mit Fachausstellung 2012

Der FSV-Verkehrstag ist die Jahrestagung der Fachexperten aus dem Verkehrswesen in Österreich.

Diesjährig findet die Tagung am 21. Juni 2012 erstmals mit einer Fachausstellung im Parkhotel Schönbrunn statt.

Diese Veranstaltung ist die Jahrestagung der Verkehrsexperten Österreichs und wird eine Vielzahl an Entscheidungsträgern, wie Behördenvertreter, Bau-



Foto: Austria Trend Parkhotel Schönbrunn

herrn, Sachverständige aus den Bereichen der Verkehrsplanung sowie natürlich Bauunternehmer ansprechen. Die Teilnehmerzahl beläuft sich voraussichtlich auf 250 Personen.

Zentrale Themen der diesjährigen Tagung sind u.a. Verkehrssicherheit, Brückenprüfung, Asphalt, Beton, Kosten der Projektierung, Gewässerschutz oder Sekundärer Luftschall.

Zu den Vortragenden zählen hochrangige Vertreter aus den verschiedensten verkehrsbezogenen Bereichen.

Weitere Informationen sowie das Programm ersehen Sie bitte auf der Homepage der FSV www.fsv.at.

FSV – Seminar in Wien
RSA-RSI-Forum Sicherheitsfallen im Radverkehr
14.5.2012

FSV – Infonachmittag in Wien
Erschütterungen und Sekundärer Luftschall
15.5.2012

FSV – Seminar in Wien
Asphalt im Wandel der Zeit
16.5.2012

FSV – Seminar in Wien
Gewässerschutzanlagen für Straßen, Planung-Bau-Betrieb
23.–24.5.2012

FSV – Infonachmittag in Wien
Winterdienst
30.5.2012

FSV – Seminar in Wien
Gibt es effiziente Lösungen für die Motorradsicherheit?
31.5.2012

FSV – Seminar in Wien
Umweltbaubegleitung
4.6.2012
Hotel IBIS, Mariahilfer Gürtel
22-24
1060 Wien

FSV – Infonachmittag in Wien
Vermessung und Geoinformation
13.6.2012

FSV – Tagung in Wien
FSV-Verkehrstag 2012 mit Fachausstellung
21.6.2012
Austria Trend Parkhotel Schönbrunn Wien, Hietzinger Hauptstraße 10–14, 1130 Wien

Nähere Informationen zu diesen und weiteren Veranstaltungen und eine Online Anmeldemöglichkeit finden Sie auf unserer Homepage www.fsv.at.

In der nächsten Ausgabe ...

... finden Sie weitere Berichte zu aktuellen Richtlinien und Vorschriften des Straßenwesens.

FSV-aktuell Straße:
„Österreich-Teil“ und offizielles Organ des Bereichs Straße der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV)

FSV-Geschäftsstelle:
A-1040 Wien, Karlsgasse 5
Tel.: +43 1 5855567
Fax: +43 1 5855567-99
E-Mail: office@fsv.at
<http://www.fsv.at>

Schriftleitung:
Dipl.-Ing. Claudia Österbauer (Kommentare, Anregungen, Beitragsideen etc. erwünscht!)
Weitere Informationen und Bestellmöglichkeit der Publikationen der FSV auf www.fsv.at.
Bei Bestellungen im EU-Raum bitte Ihre UID bekannt geben (in Deutschland = DE + 9 Ziffern), da Sie so die MwSt. sparen können.

Abonnementpreis der Zeitschriften *Straßenverkehrstechnik* sowie *Straße und Autobahn* für FSV-Mitglieder ermäßigt!